VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

621.311

Некоторые экологические проблемы от действия ТЭС

и возможные пути их решения

Учебное пособие

621.311

Щинников П.А. Некоторые экологические проблемы от действия ТЭС и возможные пути их решения: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – … с.

Рецензент: д.т.н., проф. Ноздренко Г.В.
к.т.н., доц. Бородихин И.В.

Учебное пособие подготовлено на кафедре ТЭС

Учебное пособие раскрывает некоторые особенности экологического воздействия ТЭС, которые носят преимущественно социальный характер и напрямую связаны со сферой человеческих взаимоотношений. Это проблемы снижения выброса парниковых газов (попыткой решения которой является Киотский протокол) и воздействия выбросов ТЭС на состояние здоровья людей.

Пособие является дополнительным материалом к курсам «Природоохранные технологии на ТЭС и АЭС» и «Экологически перспективные ТЭС» для бакалавров направления 140100 – теплоэнергетика и инженеров специальности 140101 – тепловые электрические станции. Может быть полезно магистрантам и аспирантам, студентам других направлений подготовки, широкому кругу специалистов в области энергетики, энергосбережения, экономики, а также всем заинтересованным лицам.

Оглавление

Оглавление ………………………………………………………… 3
Введение ………………………………………………………… 4
1. Сущность Киотского протокола и его роль в решении
экологических проблем энергетики …….………………………..… 8
1.1. Факторы изменения климата …………………………………… 8
1.2. Основные принципы Рамочной конвенции ООН
об изменении климата ……………..………………………... 13
1.3. Киотский протокол …………………………….………… 15
1.4. Обязательства России по Киотскому протоколу ……………...….. 17
1.5. Роль Киотского протокола для экономики России …………... 19
1.6. Торговля квотами на выбросы ……………………………... 19
1.7. Проекты совместного осуществления ……………………... 22
1.8. Потенциал ПСО в России ……………………………... 24
2. Влияние фактора здравоохранения на характеристики
функционирования ТЭС …………………………………………..…. 25
2.1. Методика учета затрат «по здравоохранению»
при комплексной оптимизации энергоблоков ТЭС …………... 26
2.2. Некоторые результаты исследования ……………..………… 29
2.3. Сопоставление результатов исследования
с зарубежным опытом ………………………….……. 38
2.4. Резюме ………………………………………………………… 39
Заключение …………………………………………………………... 40
Литература ……………………………………………………………………… 41

Введение

Современные энергоблоки ТЭС являются сложными структурами. Оснащенные новыми технологиями, они становятся энерготехнологическими многоцелевыми блоками. Новые технологии включают системы сероочистки и азотоочистки дымовых газов, системы термической и плазмотермической подготовки и газификации угля, парогазовые схемы, энергохимические комплексы, системы утилизации теплоты уходящих газов, газотурбинные и (или) паротурбинные надстройки. При этом энерготехнологические угольные энергоблоки могут вырабатывать и отпускать потребителям два и более видов продукции (электрическую и тепловую энергию, синтетические жидкие и газообразные топлива, полукокс, товарную серу, продукцию для сельского хозяйства в виде аммонийных удобрений, продукцию для стройиндустрии, дорожного строительства и некоторые др.).

В то же время, современные энергетические объекты являются крупными комплексами, которые имеют разностороннее влияние на многие сферы жизни и деятельности общества, рис.1. Эти объекты тесно взаимоувязаны с потребителями производимой продукции, с поставщиками сырья и между собой, и образуют энергетические системы с большим количеством экологических, социальных и технологических связей, рис.2.

Вместе с тем особое внимание сегодня уделяется экологическому воздействию на среду обитания, которое оказывает антропогенная деятельность человека, в частности, и энергоблоков ТЭС. Под экологическим следует понимать такое воздействие, которое нарушает исторически сложившиеся процессы обмена веществом и энергией в окружающей среде. Масштабы этого воздействия, оказываемого техногенной цивилизацией нашей планеты – огромны.

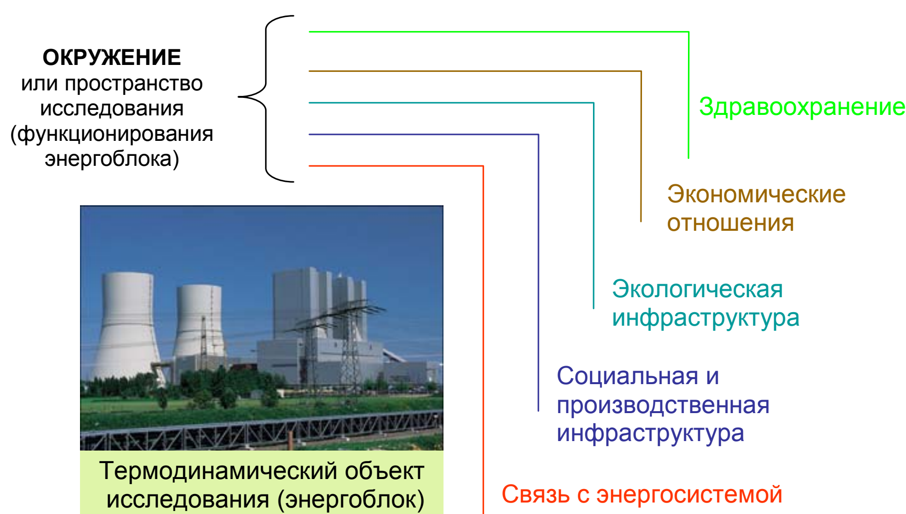


Рис.1. Факторы взаимодействия энергоблоков ТЭС с окружающей средой

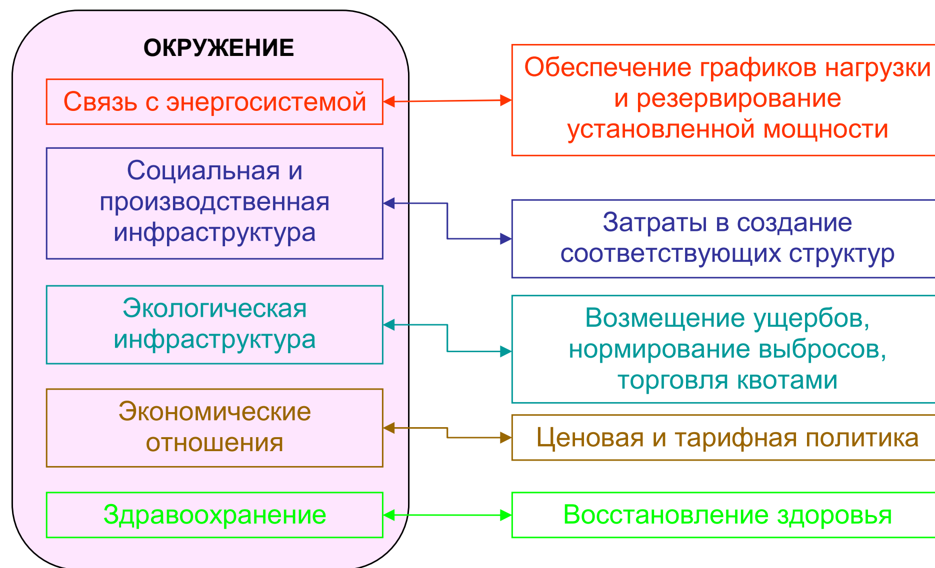


Рис.2. Установление связей между энергоблоком и окружением

Сущность экологического аспекта в энергетике можно вкратце сформулировать следующим образом, рис.3. Человек направляет свои усилия на природу, чтобы получить ископаемые, которые являются сырьем для его деятельности. Сырье попадает в общество и распределяется по производствам. В результате общество получает необходимый продукт, но, при этом, и нежелательное воздействие, как от самого продукта, так и от отходов производств. Нежелательное воздействие испытывает и природа, что вновь отражается на человеке через уменьшение природных продуктов питания, увеличение заболеваний (от хронических простудных до генетических и даже мутаций) и т.п. При этом по возможному воздействию на среду выделено четыре сферы: атмосфера, литосфера, гидросфера и биосфера, кроме человека, так как интересы человека, в данном случае, учитываются интересами социума (в частности,

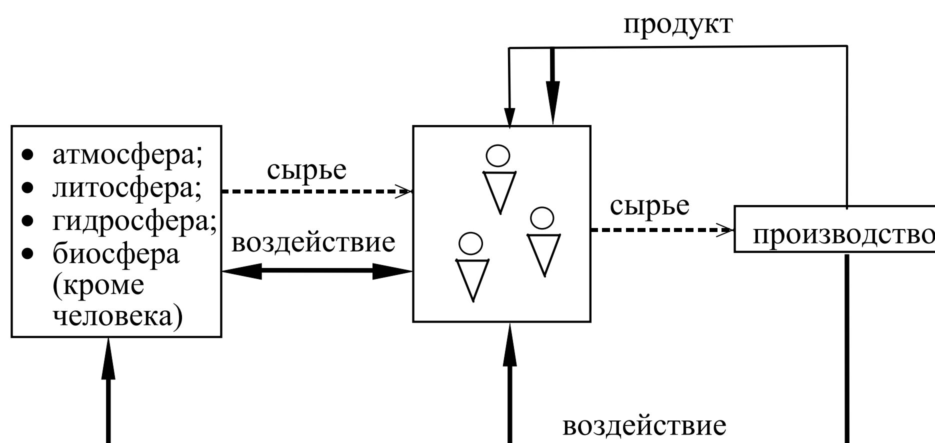


Рис.3. Причинно-следственная взаимосвязь системы «человек - окружающая среда»

через системы: законодательную, правовую, здравоохранения и др.). Последнее обусловлено тем, что именно социум является заказчиком таких крупных производств, которыми являются ТЭС.

Таблица 1

Динамика воздействия ТЭК на окружающую среду России

Выбросы	1990	2000	2010
Выбросы кислотных газов и золы, млн. т	17,3	13,5…14,0	11…12
В том числе:			
оксиды серы	7,7	6,7…7,2	6,3…6,6
оксиды азота	4,5	3,8…4,3	3,2…3,6
зола	5,1	3,0…2,5	1,5…1,8

Таблица 2

Доля ТЭК в воздействии на окружающую среду России

Факторы	Отрасли ТЭК, %	Из них электротеплоэнергетика, %
Парниковые газы	36,0	33,5
Токсичные газы и зола	44,0	28,0
Отчуждение земель	10,5	9,4
Забор свежей воды	25,5	24,5
Сброс сточных вод	36,0	33,5

Динамика воздействия ТЭК на окружающую среду в России и его доля в этом воздействии показана в табл.1 и табл.2 [2]. Следует отметить, что объективную, научно обоснованную оценку воздействия ТЭС (и ТЭК в целом) на окружающую среду и отдельные ее компоненты (в частности, на социальную сферу воздействия) без крупномасштабных исследований получить затруднительно. Однако известно, что наибольшее антропогенное воздействие ТЭК на окружающую среду оказывают вещества, выбрасываемые с дымовыми газами ТЭС [2, 3] и со сточными водами.

Мониторинг окружающей среды в России за 2002 год [4] показывает, что произошло увеличение со 115 в 2001 г. до 130 в 2002 г. количества городов, в которых уровень загрязнения атмосферы (по показателю ИЗА – индекс загрязнения атмосферы, рассчитываемый как сумма деленных на ПДК средних за год концентраций веществ, приведенных к величине концентрации диоксида серы в долях ПДК) оценивается как высокий и очень высокий. Число городов, где средние концентрации одного или нескольких веществ превышают 1 ПДК, увеличилось со 185 в 1998 г. до 201 в 2002 г. В этих городах проживает 65,4 млн. человек. В соответствии с существующими оценками

считается, что уровень загрязнений высокий при ИЗА=7…13 и очень высокий при ИЗА≥14. Приоритетный список с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы включает 35 городов с общей численностью населения более 20 млн. человек. В большинстве случаев в этих городах очень высокий уровень загрязнения связан с бенз(а)пиреном, взвешенными веществами и диоксидом азота, однако в ряде случаев это – формальдегиды, метилбензол, диоксид серы и некоторые другие. Таким образом, учитывая долю ТЭС в воздействии отраслей ТЭК на окружающую среду (табл.2), и несмотря на увеличение доли автотранспорта в этом воздействии в последние годы, перед теплоэнергетической отраслью остро стоит проблема снижения эмиссии загрязняющих атмосферу веществ.

Дополнительным аргументом (а по большому счету – основным) является то, что (как показано в [5]) наибольший вред человеку приносят вещества, попадающие в организм через дыхательные пути – до 68% болезней человечества. При этом отклонения в состоянии здоровья наблюдаются уже при ИЗА=3…5 (т.е. умеренное загрязнение) [6]. Воздействие некоторых веществ на состояние здоровья человека показано в табл.3.

Таблица 3

Влияние загрязнения атмосферного воздуха на состояние здоровья человека [7, 8]

Загрязнение	Повышенная смертность и обращаемость в больницы	Хронические легочные заболевания	Функциональные изменения в дыхании	Изменение видимости, дискомфорт
	среднесуточная концентрация		среднегодовая концентрация	
SO_2, мг/м^3	0,5...0,1	0,08...0,25	0,09...0,12	<0,09
взвешенные частицы, мг/м^3	0,5	0,25	0,1	0,08

Следует отметить, что определить влияние отдельного вещества в общей гамме загрязнителей атмосферы чрезвычайно сложно. Это обстоятельство затрудняет и без того непростую проблему оценки воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду, в том числе и с точки зрения методического обеспечения для решения такого рода задач.

В предлагаемом пособии рассматриваются лишь два фактора экологического воздействия ТЭС на среду обитания – выбросы парниковых газов (материал данного раздела подготовлен на основе [1], с купюрами и дополнениями) и повышение заболеваемости населения, находящегося в зоне выбросов.

1. Сущность Киотского протокола и его роль в решении экологических проблем энергетики

1.1. Факторы изменения климата

Современные оценки изменения климата на планете тесно связывают последние с техногенной деятельностью человека. При этом отмечают ряд факторов, которые наиболее существенно влияют на климат Земли. К ним относят:

- антропогенный рост концентрации парниковых газов в атмосфере;
- усиление радиационного прогрева атмосферы (парникового эффекта) и рост средней температуры;
- рост числа отрицательных явлений;
- изменение углеродного баланса (в этой связи особую роль приобретают леса России).

Антропогенный рост концентрации парниковых газов в атмосфере. Парниковый эффект вызывается водяным паром, CO_2, CH_4, N_2O и рядом других газов, содержание которых незначительно (фреоны, перфторуглероды, гидрофторуглероды, гексафторид серы). Следует отметить, что парниковый эффект был всегда с момента зарождения атмосферы, однако в настоящее время имеет место антропогенное усиление этого эффекта.

Сжигание ископаемого топлива является главным источником появления антропогенного CO_2 (3/4 роста концентрации), а еще 1/3 приходится на сведение лесов и деградацию земель. Повышение концентрации метана так же вызвано антропогенными факторами (животноводство, возделывание риса, свалками, утечками природного газа, эмиссией шахтного газа и т.п.), а повышение концентрации закиси азота на 1/3 вызвано антропогенными причинами (сельское хозяйство и химическая промышленность). К настоящему времени концентрация фреонов в атмосфере сокращена в связи с действием Монреальских соглашений.

Особо следует отметить, что для исторического периода в 100…200 лет резкое увеличение концентраций парниковых газов можно назвать «химическим ударом», рис.4.

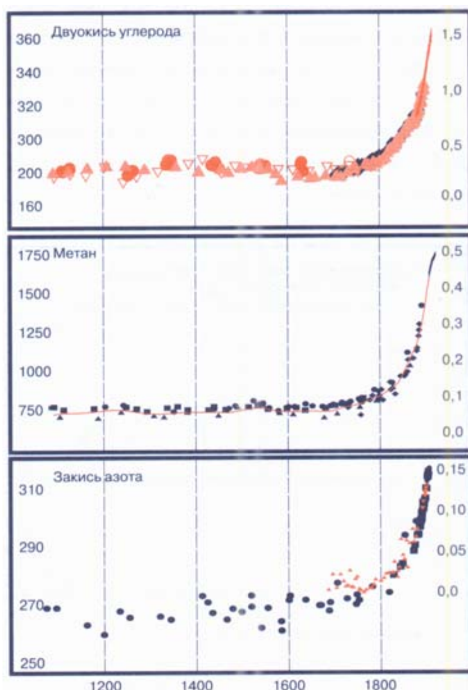


Рис.4. Рост концентрации парниковых газов (ppm) в атмосфере с 1000 по 2000 г

Усиление радиационного прогрева атмосферы и рост средней температуры.



Рис.5. Радиационный баланс атмосферы Земли

Под радиационным балансом атмосферы Земли понимают соотношение воспринятых и отданных атмосферой тепловых потоков. В целом приходящая солнечная радиация (342 Вт/м^2) практически равна сумме радиации, сразу отраженной атмосферой (107 Вт/м^2), и исходящей от Земли длинноволновой радиации (235 Вт/м^2). Земля, в свою очередь возвращает тепло в атмосферу и греет ее снизу. В результате средняя глобальная температура у поверхности составляет +14 °С, а на верхней границе тропосферы –58 °С. Если предположить, что те же 235 Вт/м^2 излучаются Землей как неким нагретым телом, то температура его поверхности должна быть на уровне –19 °С. Таким образом естественный парниковый эффект меняет радиационный баланс атмосферы Земли, рис.5.

Оценка вклада различных факторов в радиационное воздействие атмо-

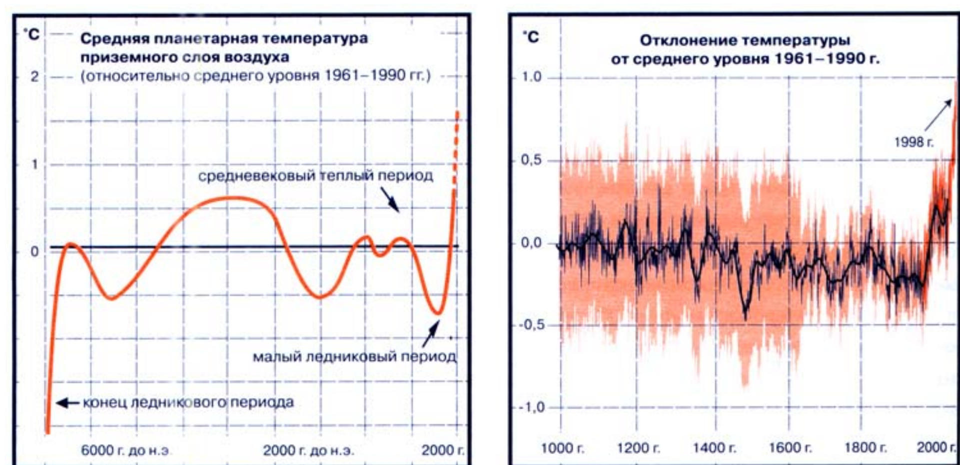


Рис.6. Изменение средней глобальной температуры приземного воздуха

сферы показывает, что изменение солнечной активности усилии прогрев на 0,1…0,5 Вт/м^2, изменение количества тропосферного озона – прогрев на 0,2…0,5 Вт/м^2. Но с другой стороны, изменение сульфатных аэрозолей снизили прогрев на 0,2…0,5 Вт/м^2, а стратосферного озона на 0,05…0,2 Вт/м^2. Таким образом имеется комбинация разноплановых факторов, каждый из которых заметно слабее, чем рост концентрации парниковых газов, оцениваемый как прогрев на 2,2…2,7 Вт/м^2. Это означает, что по порядку величины нарушение, вызванное антропогенной деятельностью человека составляет менее 3 Вт/м^2, или менее 1 % от общего баланса. Вместе с тем существуют оценки того, что данное нарушение привело в XX веке к росту средней глобальной температуры на 0,6±0,2 °С, рис.6.

Рост числа отрицательных явлений характеризуется повышением частоты и интенсивности:

Тепловых волн и сильных морозов;

Наводнений и засух;

Лавин и сильных ураганов.

При этом в условиях небольшого потепления, но сильном росте изменчивости – вторичные явления гораздо сильнее первичного эффекта (например, снижение урожайности от наводнений или засух может нанести больший ущерб, чем собственно стихия).

Умозрительно связь между антропогенной деятельностью человека и изменением климата понятна, но сегодня не установлено прямой причинно-следственной взаимосвязи между ростом температуры и увеличением стихийных бедствий.

Изменение климата выражается в небольшом росте температуры, но, при этом сопровождается:

резким увеличением особо жарких дней;

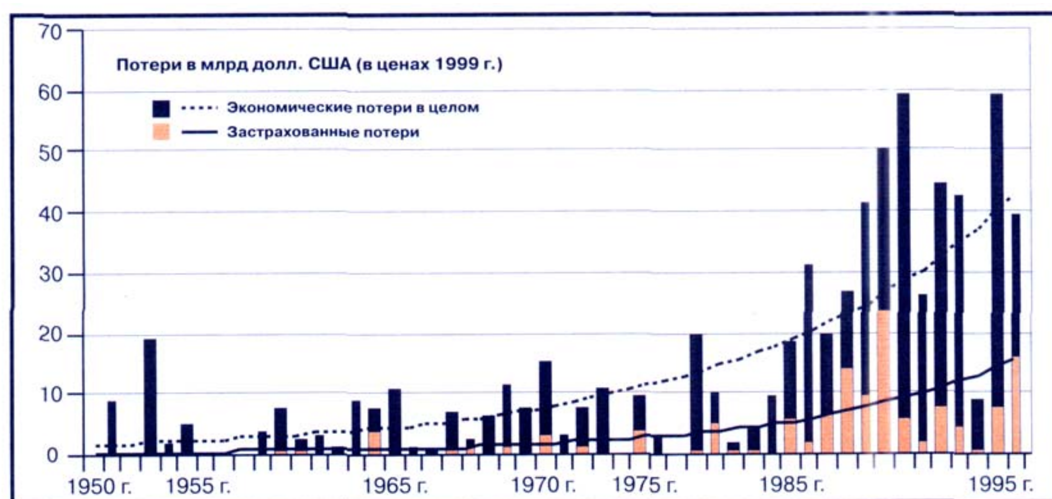


Рис.7. Рост ущерба от неблагоприятных погодных явлений

увеличением сильных осадков (ливней, снегопадов);
увеличением сильных тропических циклонов;
сокращением площади ледников (есть признаки деградации вечной мерзлоты);
сокращением площади снежного покрова (снежный покров снизился на 10% за время спутниковых наблюдений, толщина льда снизилась на 40%, а их площадь сократилась на 10…15% за последние 50 лет).

Так же можно отметить, что рост числа наводнений и тайфунов привел к резкому увеличению ущербов (с 1950-х по 1990-е увеличился в 10 раз в сопоставимых ценах), рис.7.

Изменение углеродного баланса. Наземные экосистемы, где органический углерод удерживается в живой биомассе, в почве и в постепенно разлагающемся органическом веществе, играют ключевую роль в глобальном цикле углерода. Естественный обмен углеродом в форме CO_2 и других углесодержащих соединений идет посредством фотосинтеза, дыхания, разложения и горения. Все эти процессы подвержены антропогенному влиянию человека.

Некоторые показатели баланса углерода:
Содержание в углерода в атмосфере – 760 млрд. т;
Содержание в углерода в океане – 39 000 млрд. т;
Содержание в углерода в почве и органических остатках – 2 000 млрд. т;
Содержание в углерода в живой растительности – 500 млрд. т;
Обмен CO_2 между атмосферой и сушей – 60 млрд. т;
Обмен CO_2 между атмосферой и океаном – 90 млрд. т;
Поглощение экосистемой суши – 0,7 млрд. т;

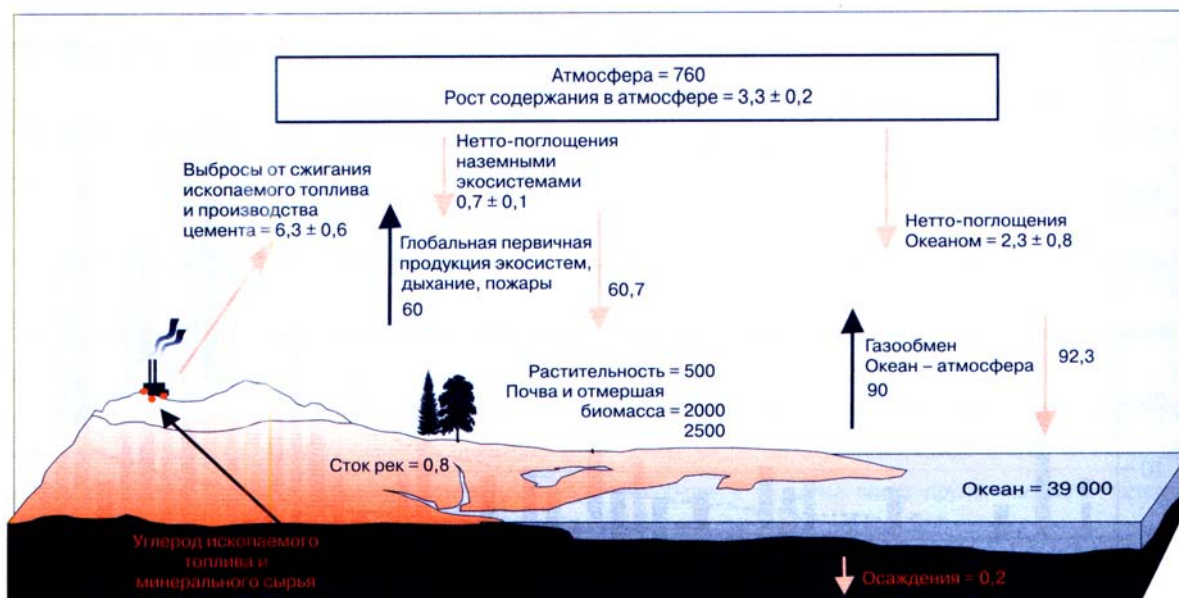


Рис.8. Глобальный баланс углерода за период 1990…1998 гг.

Вынос углерода реками в океан – 0,8 млрд. т.

По некоторым оценкам глобального баланса углерода за период с 1990 по 1998 гг. происходит накопление содержания углерода в атмосфере на уровне ≈3 млрд. т, рис.8.

Следует отметить, что изменение баланса углерода (в виде накопления в атмосфере) не влияет на баланс кислорода. Изменение концентрации кислорода в атмосфере оценивается менее, чем в 0,1%.

В условиях меняющегося баланса углерода планеты особую роль приобретают леса России. Из 500 млрд. т углерода, приходящихся на живую растительность – 34 млрд. т являются вкладом лесов России (из них 25 млрд. т – хвойные леса). Почвы земель лесного фонда – 250 млрд. т, почвы собственно покрытых лесом земель – 125 млрд. т, отмершие органические вещества лесов – 18 млрд. т.

В совокупности это составляет 427 млрд. т, или около 8,5 % мирового запаса углерода находящегося на суше.

Вместе с тем леса России обеспечивают поглощение около 8 % мирового антропогенного выброса CO_2, который составляет 6,5 млрд. т, а выброс России – 0,6 млрд. т. Таким образом леса России поглощают практически все, что выбрасывается в атмосферу в результате антропогенной деятельности в нашей стране (около 0,52 млрд. т).

В определенном смысле можно говорить, что леса России и таких стран как Бразилия являются «донором кислорода» на планете, понимая под донорством экологическую роль лесов. Сохраняя леса для планеты, такие страны оказывают человечеству экологическую услугу.

Риски человечества в рамках прогнозов на будущее при потеплении на 1,5…2 (лучший вариант развития событий) и 4…5 °С к концу 21 века.

В лучшем случае вымирание некоторых уникальных экосистем (например – Аральское море);

Многократное увеличение экстремальных природных явлений;

В лучшем случае экономические последствия для ряда регионов планеты как позитивные, так и негативные, в худшем – только негативные;

В лучшем случае снижение урожайности в большинстве тропических регионов, в худшем – также и в средних широтах;

Изменение количества осадков – в засушливых регионах их будет еще меньше, а в северных и средних широтах – больше;

Необратимые изменения в экосистемах ледников, тропических лесов, манговых зарослях, коралловых рифов, полярные и альпийские районы;

Потеря биоразнообразия из-за вымирания редких видов животных и растений (например, для таежных и горных экосистем потери могут составить от 10 до 60%);

Повышение уровня океана;

Таяние ледников и дальнейшее снижение снежного и ледового покрова;

Повышение смертности среди людей (жара в Европе 2005 года унесла 20 000 жизней), кроме того увеличение распространителей болезней, например, энцефалит, снижение качества воды, ухудшение качества продовольствия;

Возможно появление климатических беженцев и значительное переселение.

1.2. Основные принципы Рамочной конвенции ООН об изменении климата

Проблема изменения климата начала рассматриваться в середине 80-х годов прошлого века. Тогда ученые пришли к мнению, что изменение климата связано с антропогенной деятельностью человека. Впоследствии стало ясно, что проблема очень сложна и для получения сколь-нибудь достоверных прогнозов необходимо объединять усилия многих стран. (К сведению: достоверность современных прогнозов по изменению климата оценивается на уровне 40…60 %.) В 1988 году Всемирная метеорологическая организация и Программа по окружающей среде ООН учредили межправительственную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК), в которую вошли ученые разных стран, в том числе и России. В том же году на Генеральной Ассамблее ООН был впервые рассмотрен вопрос «О защите глобального климата в интересах нынешнего и будущих поколений человечества». Эти события можно считать началом той работы, которая впоследствии вылилась в Киотский протокол, табл.4.

В результате работы МГЭИК в 1992 году была принята Рамочная конвенция об изменении климата (РКИК). В качестве конечной цели РКИК заявлена стабилизация концентрации парниковых газов в атмосфере «на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему. Такой уровень должен быть достигнут в сроки, достаточные для естественной адаптации экосистем к изменению климата, позволяющие не ставить под угрозу производство продовольствия и обеспечивающие дальнейшее экономическое развитие на устойчивой основе».

Следует обратить внимание, что уровень численно нигде не оговорен и для разных стран может быть разным. Например, повышение уровня мирового океана на 1 м (из-за нагрева и расширения верхнего слоя Океана, а затем и таяния льдов) для относительно небольшой Гренландии или Великобритании – трагедия, а для большей части России не сулит катастрофических последствий. Поэтому вопрос о величине безопасного уровня, по всей видимости, будет решаться еще достаточно долгое время.

Таблица 4

Хронологическая таблица основных событий

Дата	Событие
1988	Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и Программа по окружающей среде ООН (ЮНЕП) учредили группу экспертов по изменению климата (МГЭИК).
1990	Опубликован первый оценочный доклад МГЭИК. Сделан вывод, что международные переговоры должны быть начаты как можно скорее.
9 мая 1992	Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК) принята в Нью-Йорке на отложенной пятой сессии МПК.
4 июня 1992	Конвенция была открыта к подписанию Сторонами на Всемирном саммите по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро.
21 марта 1994	Конвенция вступила в силу.
28 декабря 1994	Российская федерация ратифицировала конвенцию.
11…15 декабря 1995	Второй оценочный доклад МГЭИК, основной вывод – необходимость серьезных действий по снижению выбросов.
11 декабря 1997	На Третьей конференции Сторон РКИК принят Киотский протокол.
11 марта 199	Российская федерация подписала Киотский протокол.
4…6 апреля 2001	Третий оценочный доклад МГЭИК, основной вывод – подтверждение факта антропогенного потепления климата, причем изменения более сильные, чем считалось ранее.
29 октября…9 ноября 2001	Принятие на Седьмой конференции Сторон РКИК Марракешских соглашений, фактически были одобрены подзаконные акты Киотского протокола.
Май…июнь 2003	Киотский протокол ратифицирован всеми странами ЕС, японией, Канадой и всеми ведущими развивающимися странами (на октябрь 2004 – 124 страны). Россия в отсутствии США получила право вето на вступление протокола в силу.
Сентябрь 2004	Правительство России приняло решение о ратификации Киотского протокола, Закон о ратификации направлен в Государственную думу.
2005	Вступление Киотского протокола в силу. Проведение первого совещания Сторон протокола, принятие Марракешских соглашений (подзаконных актов Киотского протокола). Начало переговоров об ограничении и сокращении выбросов парниковых газов с 2013 года.

1.3. Киотский протокол

Собственно Киотский протокол был принят на Третьей конференции сторон РКИК в г. Киото (Япония) в 1997 году. Протокол устанавливает обязательства развитых стран по ограничению выбросов парниковых газов, табл.5. Для России не превысить в 2008…12 гг. уровень выбросов 1990 года.

Парниковые газы, регулируемые Киотским протоколом, это: диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O), гидрофторуглероды (ГФУ), перфторуглероды (ПФУ), гексафторид серы (SF_6).

Количественные ограничения по выбросам парниковых газов в среднем за период с 2008 по 2012 год

Таблица 5

<table>
<tr><th>Страна</th><th>Уровень выбросов в % от 1990 г.</th><th>Страна</th><th>Уровень выбросов в % от 1990 г.</th></tr>
<tr><td>Австралия</td><td>108</td><td>Нидерланды</td><td>92</td></tr>
<tr><td>Австрия</td><td rowspan="3">92</td><td>Новая Зеландия</td><td>100</td></tr>
<tr><td>Бельгия</td><td>Норвегия</td><td>101</td></tr>
<tr><td>Болгария</td><td>Польша</td><td>94</td></tr>
<tr><td>Венгрия</td><td>94</td><td>Португалия</td><td>92</td></tr>
<tr><td>Германия</td><td rowspan="5">92</td><td>Россия</td><td>100</td></tr>
<tr><td>Греция</td><td>Румыния</td><td rowspan="4">92</td></tr>
<tr><td>Дания</td><td>Словакия</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Европейский союз (15 стран)</td><td>Словения</td></tr>
<tr><td>Великобритания</td></tr>
<tr><td>Ирландия</td><td>92</td><td>США</td><td>93</td></tr>
<tr><td>Исландия</td><td>110</td><td>Украина</td><td>100</td></tr>
<tr><td>Испания</td><td rowspan="2">92</td><td>Финляндия</td><td rowspan="2">92</td></tr>
<tr><td>Италия</td><td>Франция</td></tr>
<tr><td>Канада</td><td>94</td><td>Хорватия</td><td>95</td></tr>
<tr><td>Латвия</td><td rowspan="5">92</td><td>Чехия</td><td rowspan="4">92</td></tr>
<tr><td>Литва</td><td>Швейцария</td></tr>
<tr><td>Лихтенштейн</td><td>Швеция</td></tr>
<tr><td>Люксембург</td><td>Эстония</td></tr>
<tr><td>Монако</td><td>Япония</td><td>94</td></tr>
<tr><td colspan="4">В таблице нет развивающихся стран, так по этим странам (даже таким сильным как Китай, Индия, Бразилия, Южная Корея, Мексика и др.) численные обязательства на первом этапе не определены из-за традиций и стереотипов, сложившихся в ООН</td></tr>
<tr><td colspan="4">Внутри Европейского союза проведено перераспределение обязательств: так, Германия и Великобритания снизят выбросы на 15 % и более, Франция и Финляндия имеют обязательства, аналогичные Российским, а Португалия, Греция и Ирландия могут увеличить выбросы</td></tr>
</table>

В основе разработки Киотского протокола лежит несколько основополагающих принципов.

Есть уверенность в антропогенном характере и причинах изменения климата. Есть понимание будущей угрозы, но нет прямых причинно-следственных взаимосвязей между снижением выброса и получением эффекта, например, предотвращением наводнения и т.п.

Контроль за выбросами парниковых газов затрагивает всю мировую экономику, но организация и обеспечение такого контроля требует много времени. В любом случае начинать необходимо с малого (пилотного) проекта. Киотский протокол определяет пятилетний период с 2008 по 2012 гг. включительно.

Парниковые газы не являются загрязняющими веществами в общепринятом смысле (например, как SO_2 и NO_x). Поэтому их регулирование на уровне ПДК нерационально. Действительно, выброс CO_2 напрямую связан с количеством сжигаемого органического топлива в энергетических установках. Снижение выброса возможно лишь с полной заменой оборудования на более эффективное при одинаковых энергетических нагрузках. Такую замену возможно сделать лишь постепенно, во взаимоувязке со всем экономическим хозяйством в целом, а на это потребуется время.

Киотский протокол не задает никаких обязательных политик и мер. Каждая страна вправе самостоятельно определить – насколько возможно снизить выбросы. Общее решение принимается коллегиально. Такой подход для каждой страны означает решение двух вопросов: первое – как повлиять на национальный бизнес; второе – политические амбиции лидеров ведущих стран.

Первое привело к ориентации протокола на развитие энергетики без учета фактора лесного хозяйства. После жестких обсуждений с участием России, при формирования обязательств отмечена особая роль лесов с выделением дополнительной квоты. Например, данная квота из расчета на пять лет для России составляет 33 Мт С/год (самая большая); Япония – 13; Канада – 12; Германия 1,24; Украина 1,11, Румыния –1,1 у остальных развитых стран менее 1.

Второе – политические амбиции – привели к неблагоприятному исходу для США и Австралии, когда одни политики (Альберт Гор) заявляют в Киото высокие обязательства, а другие (Джордж Буш) столь же демонстративно от них отказываются. С пониманием отладочной роли Киотского протокола, его ценность не снизилась бы и при менее жестких обязательствах США. В результате страна, где население больше всего обеспокоено проблемами изменения климата, и являющаяся автором идеи торговли квотами до 2012 года не может участвовать в этих торгах. (Вопросу торговли квотами посвящен параграф 1.6)

Таким образом Киотский протокол – это первая попытка мирового сообщества разработать механизм отношений, способный повлиять на глобальные изменения климата на планете. Киотский протокол является пилотным

этапом, на котором должен быть отлажен механизм международной торговли квотами на выбросы парниковых газов. Он дает общие формулировки и не содержит деталей выполнения обязательств, не предусматривает никаких штрафных санкций.

1.4. Обязательства России по Киотскому протоколу

Обязательства России по Киотскому протоколу сводятся к следующему.

Не превысить выбросы парниковых газов к 2012 году. При этом расчеты, проведенные с учетом ускоренного развития и удвоения ВВП за 8…10 лет, показывают, что риск нарушения обязательств – отсутствует, рис.9, табл.6.

Таблица 6

Динамика удельных выбросов CO_2

Показатели	1990	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Годовое снижение выбросов CO_2 на единицу ВВП в процентах от предыдущего года			-4,95	-10,34	-5,09	-7,37	-6,07
Выбросы CO_2 на единицу ВВП в процентах от значения данного показателя в 1990 г.	100	126,4	120,2	107,7	102,3	94,7	89,0

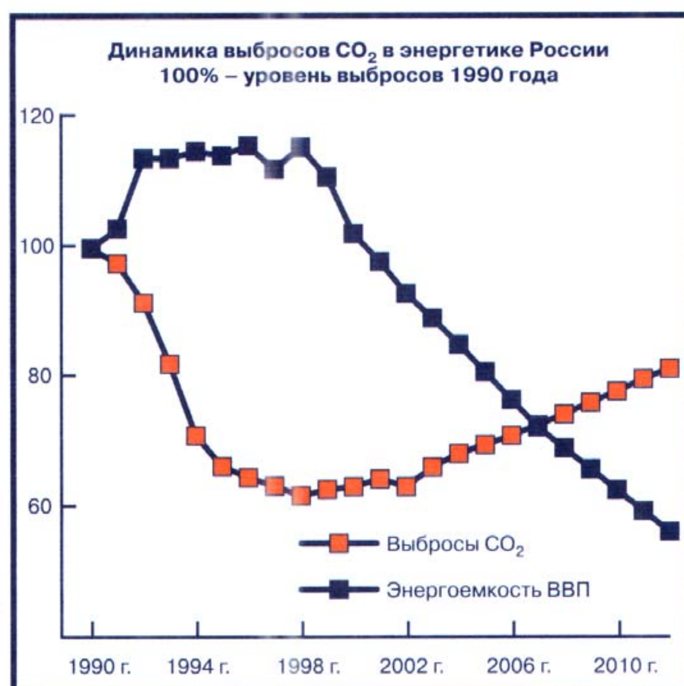


Рис.9. Динамика выбросов CO_2 в энергетике России

При этом Рост ВВП в России планируется не за счет энергоемких производств ВПК, а, в том числе, за счет:

- сферы услуг и торговли, что не связано напрямую с выбросами;
- цены на нефть (добыча которой не приводит к существенным выбросам парниковых газов);
- низкотехнологичный «сырьевой» вклад в ВВП определяется объемом мировых рынков сырья (металлов, минеральных удобрений и т.п.), резкие изменения ценовой конъюнктуры на этих рынках не предполагаются;
- развитие энергетики и ЖКХ подразумевает не наращивание новых мощностей, а модернизацию и замену действующих на более эффективное оборудование при обеспечении более четкой и слаженной работы.

Самое существенное обязательство – учет выбросов парниковых газов и отчетность в соответствии с РКИК. Россия не позднее 2007 года обязана создать систему оценки антропогенных выбросов и поглотителей парниковых газов. Отчетность по выбросам планируется включить в новое поколение стандартов ISO. Следует отметить, что для России нет необходимости в создании системы измерений объемов выбросов и системы учета поглощения CO_2 лесами, так как эта информация собирается соответствующими министерствами и ведомствами на основе объемов использованного топлива или произведенной продукции, а так же путем учета ввода-вывода лесов и земель из лесного фонда.

Создание регистра принадлежности, купли-продажи и передачи единиц учета выбросов парниковых газов. Работа Регистра сходна с работой Реестра принадлежности акций. В конце периода обязательств происходит погашение единиц, а лишние переносятся на будущие периоды учета. Важно отметить, что работа Регистра определяется международными правилами лишь по форме. Все правила, связанные с правами собственности определяются внутренним законодательством. Также важно, что ведение Регистра не требует распределения всех квот страны. Например, возможен вариант, когда 20 % квот распределены, а остальные находятся в резерве у государства и не участвуют ни в каких трансакциях.

Участие России в торговле квотами не является обязательством. Каждая страна сама определяет характер участия в этих механизмах, либо не участвует вообще. Все сохраненные квоты могут быть перенесены на будущее.

Следует отметить, что данные положения относятся к периоду до 2013 года. Новые обязательства могут отличаться кардинально и быть устроены на принципиально другой основе. В этой связи важно определить те позиции Киотского протокола, которые могут способствовать наилучшему экономическому и социальному развитию страны на период до 2025 года.

1.5. Роль Киотского протокола для экономики России

Роль Киотского протокола для экономики России можно сформулировать рядом тезисов:

1. Дополнительный стимул для проектов и мер по повышению энергоэффективности и энергосбережению. Масштабы денежного эквивалента оцениваются в 1…2 млрд. $ за 2008…2012 гг., что в целом для экономики России немного, но позволит получить поддержку «пионерам» энерготехнологических производств, обеспечивающих снижение карбоноемкости ВВП и, как следствие, – выбросов парниковых газов.
2. Дополнительное средство финансирования деятельности лесного хозяйства страны.
3. Средство снижения риска зарубежных инвестиций, при наличии статуса международного проекта совместного осуществления (ПСО).
4. Киотский протокол может способствовать развитию (финансированию) экологических, исследовательских т образовательных проектов, так как позволит предоставить международный статус такого рода деятельности.
5. Возможность привлечения дополнительный средств в ЖКХ при модернизации котельных с переводом последних на газ. При сжигании газа существенно меньшие загрязнения воздуха в приземном слое, что снижает заболеваемость населения. По оценкам, проведенным для шести городов России, перевод угольных котельных на газ приведет к снижению смертности на 40 тыс. чел. в год.

1.6. Торговля квотами на выбросы

Возможности применения рыночных механизмов для решения природоохранных задач исследуются более 20 лет. Такие механизмы, основанные на создании рыночных стимулов для снижения загрязнений окружающей среды, часто оказываются более эффективны, чем традиционные подходы, основанные на нормировании выбросов или штрафов за превышение последних. Например, опыт торговли квотами на выбросы SO_2 в США показал, что фактические выбросы снижались быстрее допустимого объема на 20 %, рис.10. Считается, что рынок квот, основаный в 70-х годах прошлого века, в немалой степени способствовал данному сценарию развития событий. В 90-х годах участников рынка насчитывалось более 2000 тысяч (в основном объекты энергетики, каждый из которых получал определенную квоту на выброс). Предоставленные квоты могут свободно покупаться и продаваться на рынке, рис.11. Общее количество квот ограничено, а разрешенный объем выбросов для каждого предприятия планомерно снижается до уровня, установленного в качестве генеральной цели.

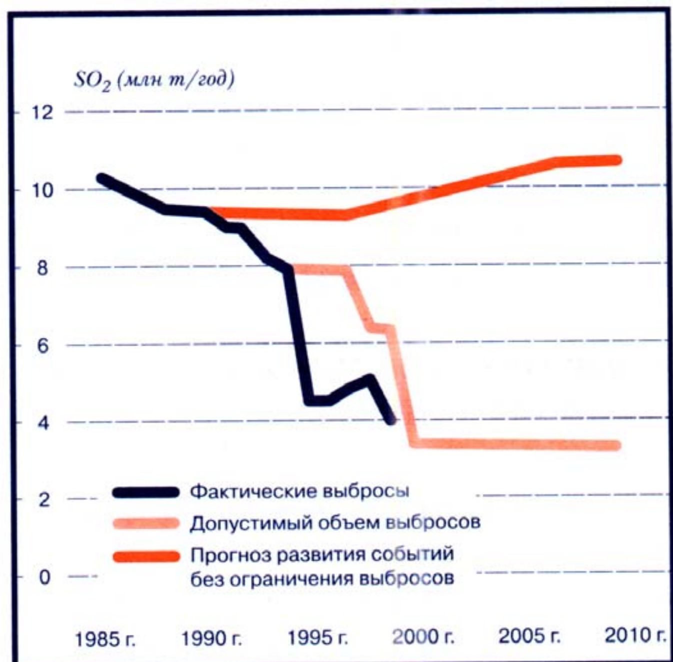


Рис.10. Опыт торговли квотами на выбросы SO_2 в электроэнергетике США



Рис.11. Создание рынка квот на выбросы: «передовики» инвестируют в новое оборудование и компенсируют часть затрат за счет продажи квот, а «отстающие» покупают квоты и откладывают модернизацию до наиболее удобного момента

Механизм торговли квотами можно представить следующим образом: Предприятие 1 уже провело модернизацию оборудования и его выбросы снизились, излишек квот на выбросы продан Предприятию 2, модернизация которого на данном этапе менее выгодна, чем покупка квот, рис.12.

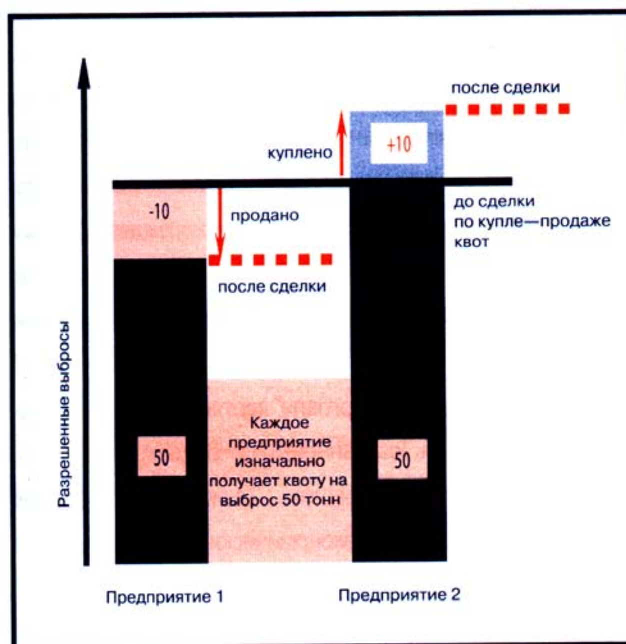


Рис.12. Механизм торговли квотами на выбросы

Рынки торговли квотами на выбросы существуют также в Великобритании, Дании и других странах Евросоюза.

В схеме торговли квотами в ЕС участвуют все крупные стационарные источники выбросов (46 % от общего объема выброса CO_2 в странах ЕС). К ним относят производителей тепло- и электроэнергии, нефтеперерабатывающие предприятия, металлургическую и целлюлозно-бумажную промышленность. За невыполнение обязательств по сокращению выбросов устанавливаются штрафы в размере 40 евро за тонну CO_2 в пилотный период (2005…2007 гг.) и 100 евро за тонну CO_2 во время действия обязательств по Киотскому протоколу (2008…2012 гг.). Кроме того нарушители обязаны возместить недостающие сокращения в последующем периоде действия обязательств.

Потенциал стоимости тонны CO_2 может составлять 2…12 $/т (нижняя граница – по опыту торговли в Велинобритании). В то же время, при формировании рынка одним из самых важных является фактор числа участников рынка. При ограниченном числе участников рынок не может быть сформирован.

Потенциальный спрос международного углеродного рынка (без США) на 2008…2012 гг. сегодня оценивается на уровне 700 млн. т CO_2. Потенциаль-

ное предложение (в случае если Россия выставит на рынок все неиспользованные квоты) в 1000…1500 млн. т. Такой сценарий развития с превышением предложения над спросом невыгоден многим участникам рынка, в первую очередь России. Кроме того, считается маловероятным, что на углеродном рынке будет действовать свободный механизм торговли, в силу высокой политизированности рынка. Предполагается, что торговля квотами будет сопровождаться целым рядом ограничений носящих геополитический характер.

Неясным фактором остается роль США, которые с одной стороны не ратифицировали Киотский протокол, но в то же время и не вышли из него. В настоящее время США заморозили свое участи во всех переговорах по Протоколу. Однако на федеральном уровне ведутся попытки формирования рынка квот на выбросы парниковых газов, а в отдельных штатах (Флорида, Джорджио, Миссисипи, Нью Мехико и др., всего около половины) проводится инвентаризация выбросов, формируются регистры, разрабатываются планы и стратегии по сокращению парниковых газов.

Также можно отметить и то, что отдельные кампании и корпорации создают некоммерческие партнерства. В *Партнерство по предотвращению изменения климата* (*Partnership for Climate Action, PCA, 2002*) входят кампании «Алкан», «Бритиш Петролеум», «ДюПон», «Энтерджи», «Онтарио Пауэр Дженерейшн», «Пешини», «Шелл», «Санкор» и неправительственная организация «Защита природы». Суммарные выбросы партнерства сопоставимы с выбросами Испании или Австралии. Цель партнерства сократить выбросы CO_2 на 80 млн.т.

В России в 2003 году создано партнерство *Национальное углеродное соглашение* (НУС). Его участниками являются РАО «ЕЭС России», группа МДМ, «Роснефть», «АФКСистема», ООО «Металлэнергофинанс», (дочерняя кампания «Евразхолдинга»), Энергетический углеродный фонд, управляющая кампания «РусАл», инновационно-иехнологический центр «Внешнаучприбор», иныестиционная кампания «ЕвроЭнергоСбережение», АКБ «ЦентроКредит», «Банк проектного финансирования», ФГУП «Русэкотранс» и ЗАО «Финако-групп». Общая эмиссия кампаний, входящих в НУС составляет около 644 млн. т CO_2-эквивалента. Основные задачи партнерства: координация деятельности крупнейших российских корпораций в области практического использования положений Киотского протокола; создание и сопровождение программ технического перевооружения; организация национального углеродного рынка.

1.7. Проекты совместного осуществления

Одним из механизмов Киотского протокола является реализация проектов совместного осуществления (ПСО) между странами. Это означает следующее: если две страны (или предприятия, зарегистрированные в этих двух странах), взявшие на себя обязательства по ограничению выбросов в рамках

Киотского протокола, реализуют совместный проект по снижению выбросов или увеличению поглощения парниковых газов, то сокращенные выбросы могут быть переданы от одной стороны к другой. Например, японская компания инвестирует средства или передает свои технологии российской компании с целью снижения выбросов углекислого газа, а в обмен получает единицы сокращенных выбросов.

По сути дела, переуступка прав на выброс парниковых газов в рамках механизма ПСО и торговли углеродными квотами ничем не отличаются. Страна, получившая единицы сокращенных выбросов или единицы установленных количеств выбросов (часть национальной квоты) от другой страны, сможет дополнительно выбрасывать соответствующий объем парниковых газов на своей территории, а страна, передавшая такие единицы, – меньше, рис.13.

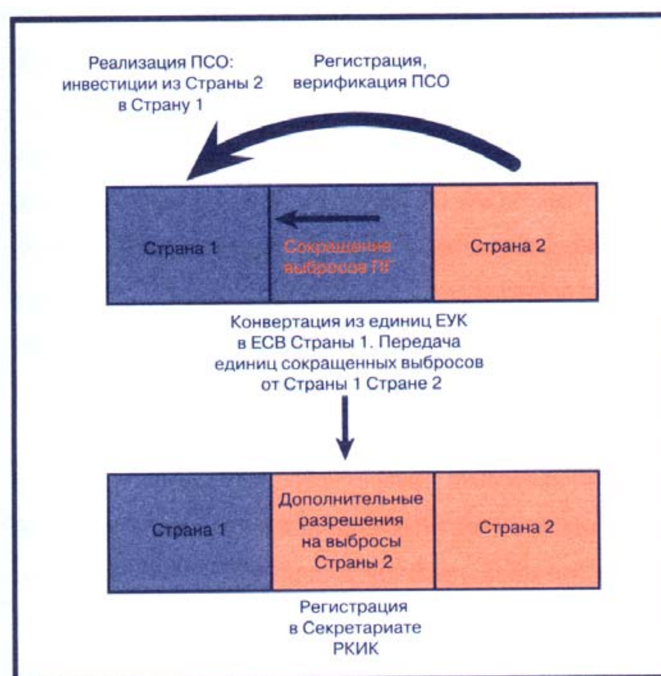


Рис.13. Механизм проектов совместного осуществления

Наиболее привлекательной чертой ПСО является возможность направлять инвестиции на снижение выбросов или увеличение поглощения парниковых газов целевым образом. Утечка инвестиционных ресурсов в этом случае минимальна, а результат тщательно отслеживается и контролируется. На этапе подготовки, регистрации и верификации ПСО подробно анализируются финансовые, технические, экономические и политические риски, связанные с их реализацией, что позволяет заранее отсеять неперспективные проекты. Если

проект все же не будет успешен (например, выбросы не будут снижены), никакой передачи единиц сокращенных выбросов не произойдет.

Именно целевой характер ПСО может привлечь и привлекает углеродных инвесторов. К тому же многие из них очень заинтересованы в продвижении своих технологий, а значит, широкомасштабная реализация ПСО позволит им увеличить свою долю на мировом рынке. Учитывая долгосрочный характер многих инвестиционных проектов в энергетике и промышленности (например, новый котлоагрегат на котельной или ТЭЦ будет действовать десятки лет), участие в ПСО обещает выгоды для предприятий, поставляющих технологичное и эффективное оборудование.

Преимуществом ПСО является наличие прямого доступа в систему торговли квотами Евросоюза.

ПСО не стимулирует мероприятия по поглощению углерода, например, проекты по посадке лесов или по передовому управлению лесным хозяйством. Данное ограничение введено для поддержания рынка, чтобы цена квот не была слишком низкой. С одной стороны, это несколько ущемляет интересы российских участников. Однако есть и обратная сторона медали: на европейский рынок нет доступа результатам дешевых, а зачастую и экологически вредных лесных проектов в тропиках, где леса растут очень быстро, а затраты на оплату труда и тому подобные расходы – очень низки. То есть, даже в случае доступа российских лесных проектов на европейский рынок торговли квотами они были бы там неконкурентоспособны по сравнению с аналогичными тропическими проектами. Однако это, конечно, никак не ограничивает выполнение лесных ПСО с передачей квот вне торговой системы ЕС, например по межгосударственным соглашениям.

Однако у ПСО есть существенный недостаток. А именно: необходимость прохождения сложных бюрократических процедур по их подготовке, регистрации в Секретариате РКИК, корректировке и сверке результатов с участием независимых экспертов. Все затраты (деньги, время и силы) существенно повышают так называемые трансакционные издержки проектов. По мнению некоторых экспертов, не многие малые и средние инвестиционные проекты способны покрывать такие издержки и оставаться прибыльными. Это значит, что приоритетными автоматически могут стать только крупномасштабные проекты.

Кроме того механизм ПСО подвержен влиянию политических рисков, которые (в условиях долгосрочности проектов) могут возрастать и отрицательно сказываться на их привлекательности.

1.8. Потенциал ПСО в России

По оценкам многих экспертов Россия обладает огромным потенциалом ПСО по снижению выбросов или увеличению поглощения парниковых газов.

Практически в каждой отрасли экономики есть возможность по реализации ПСО. В качестве примеров можно привести следующие:

- Переход с угля и мазута на природный газ;
- Повышение энергоэффективности и энергосбережение;
- Использование альтернативных источников энергии (в том числе биотоплива);
- Предотвращение потерь и утечек природного газа при добыче, транспортировке и распределении;
- Улавливание и утилизация метана, выделяющегося в угольных шахтах и на свалках отходов;
- Выращивание леса и меры по устойчивому ведению лесного хозяйства;
- Др.

При этом можно отметить, что в России на долю энергетики приходится около 98 % выбросов CO_2, из них около 30 % – доля крупных ТЭС (РАО «ЕЭС России»). Значительная часть выбросов производится на объектах ЖКХ. Потенциал повышения энергоэффективности имеется во всех секторах экономики: до 33 % приходится на электроэнергетику и теплоснабжение; 35…37 % – на промышленность; 25…27 – на ЖКХ.

2. Влияние фактора здравоохранения на характеристики функционирования ТЭС

В настоящем разделе представлены результаты исследования энергоблоков ТЭС, имеющие в своем составе экологообеспечивающие технологии топливоиспользования. В данном случае под экологообеспечивающей понимается технология, позволяющая в той или иной мере обеспечить снижение эмиссии загрязняющих веществ, без применения специальных природоохранных мер. В сравнении с традиционным способом сжигания угля рассмотрены технология сжигания угля в вихревой топке, технология плазменного розжига, технология эмульгаторной золоочистки (по существу заключается в замене инерционных золоуловителей на аппараты нового поколения), блоки повышенной эффективности и технология термоподготовки топлива. Все они являются экологообеспечивающими, имеют высокую научную проработку и в той или иной форме прошли апробацию на действующем оборудовании.

Особенностью исследования является рассмотрение фактора экологических ограничений при учете затрат «по здравоохранению», так как обеспечение безопасности именно человека – есть конечная цель как природоохраны, так и, в целом, экологообеспечения.

Следует отметить, что к рассмотрению приняты лишь энергоблоки ТЭЦ, как наиболее значимые в социальном и экологическом плане источники выбросов. При этом в энергетике России для большинства ТЭЦ характерно оборудование неблочного типа – эти электростанции имеют относительно низкие термодинамические параметры (4…13 МПа и 500…565 °С) и обладают попе-

речными связями. Для них в использованном подходе связи условно разрываются и считается, что группа котлов, работающая на одну турбину – эквивалентна, то есть обладает одинаковыми характеристиками. В таком приближении можно считать, что рассматривается условный энергоблок.

2.1. Методика учета затрат «по здравоохранению» при комплексной оптимизации энергоблоков ТЭС

Экологические ограничения при исследовании энергоблоков ТЭС – один из приоритетных аспектов в современных условиях природопользования. Особенно остро экологические проблемы стоят в регионах с высокой удельной техногенной нагрузкой на среду обитания, главным образом в крупных промышленных центрах, регионах, добывающих и перерабатывающих ископаемые ресурсы и территориях, в которых сосредоточены значительные энергетические мощности.

В этой связи, фактор экологического воздействия энергоблоков ТЭС требует особого контроля. Нормативными показателями экологического воздействия ТЭС являются ПДВ (предельно допустимые выбросы) и необходимость обеспечения ПДК (предельно допустимых концентраций) загрязняющих веществ в ареале функционирования. При этом под вредным воздействием понимают такой процесс обмена веществом и энергией, в результате которого происходят количественные и качественные изменения компонентов природной среды, превышающие предельно допустимые нормативы, определяемые интенсивностью, степенью и опасностью воздействия.

Под интенсивностью понимают величину нарушения или загрязнения окружающей среды в единицу времени. Под степенью понимают относительную величину поступления загрязняющих веществ в природную среду от общего объема выделившихся веществ в виде выброса, а также нарушенность компонента среды в зависимости от общей его площади и количества. Под опасностью понимают относительную единицу соотношения между реальной (фактической) интенсивностью воздействия и нормативной. Нормативами при загрязнениях являются предельно допустимые выбросы в атмосферу (ПДВ) и предельно допустимые сбросы в гидросферу (ПДС). Опасность воздействия j определяется по отношению

$$j = \frac{J}{ПДВ},$$

где J - интенсивность воздействия.

При $j>1$ опасность воздействия существует, при $j<1$ технологический процесс не воздействует на природную среду.

Указанные нормативные положения отражены в используемом подходе следующим образом – при обеспечении ПДВ в ареале функционирования, исследуемый энергоблок удаляется от потребителя в зону с обеспеченными ПДК, что вызывает увеличение затрат в магистральные тепловые сети (для

теплофикационных энергоблоков). Затраты, связанные с восстановлением экологической инфраструктуры учтены на основе [9]. Валовые и удельные выбросы определены в соответствии с [10, 11].

Вместе с тем экологическое воздействие энергоблоков ТЭС должно учитываться не только природоохранными штрафными санкциями и мероприятиями, но и, в первую очередь, социальными аспектами. Воздействие некоторых видов вредных выбросов на состояние здоровья человека показано в табл.3.

Выше упоминалось, что кроме общепринятых экологических ограничений (затраты, связанные с восстановлением экологической и социальной инфраструктуры: рекультивация сельскохозяйственных, лесных и прочих угодий; восстановление и поддержание в надлежащем виде объектов народного хозяйства, в том числе и жилищно-коммунального) рассмотрены и затраты «по здравоохранению». Для этого (в рамках комплексной оценки) используется ненормативный механизм учета, который оценивает затраты, связанные с восстановлением здоровья людей длительное время находящихся под воздействием выбросов ТЭС.

Сущность используемого подхода заключается в следующем.

Выбросы загрязняющих веществ (зола, окислы серы и азота для ТЭС на угле) накрывают район функционирования энергоблока, для ТЭЦ – это, как правило, городская зона с высокой плотностью населения. Ухудшение здоровья населения, которое зависит от приземных концентраций вредных веществ, вызывает повышение обращаемости в больницы, что требует дополнительного финансирования на восстановление его работоспособности. Приведенные к году эксплуатации затраты «по здравоохранению» учитываются безразмерным критерием эффективности η_Z и в процессе оптимизации влияют не только на местоположение источника выброса за счет удаления его в районы с меньшей плотностью населения, но и на оптимальный профиль энергоблока. В данном случае критерием оптимизации является показатель рентабельности условного энергоблока, оснащенного той или иной экологообеспечивающей технологией.

Характер распространения выбросов описывается эмпирическими выражениями и хорошо согласуется с методикой ОНД-86 [12], с расчетной программой распространения вредных выбросов в атмосфере от действия ТЭС – РЗА ТЭС «Новосибирсктеплоэлектропроект» и экспериментальными данными [13].

Концентрация золы в приземном слое атмосферы при удалении от источника определяется уравнением, мг/м^3:

$$C_A = \frac{0{,}05 \cdot M_A}{H} \exp\left[\frac{-\left(X - 0{,}02 \cdot H\right)^2}{0{,}05 \cdot H + 4{,}5 \cdot X}\right],$$

а суммарная концентрация оксидов серы и оксидов азота в пересчете на оксиды серы – уравнением, мг/м^3:

$$C_{SO2} = \frac{0{,}023 \cdot M_{SO2+NOx}}{H} \exp\left[\frac{-\left(X - 0{,}025 \cdot H\right)^2}{0{,}067 \cdot H + 6 \cdot X}\right].$$

Здесь C_A; C_{SO2} – приземные концентрации золы и оксидов серы соответственно, мг/м^3; M_A; $M_{SO2+NOx} = M_{SO2} + M_{NOx} \dfrac{ПДК_{SO2}}{ПДК_{NOx}}$ – количество выбросов золы и оксидов серы и азота из источника соответственно, г/с; H – высота источника рассеивания, м; X – удаление от источника, км.

Использование эмпирических зависимостей не требует применения гетерогенных термодинамических моделей по превращению и распространению вредных веществ в атмосфере, которые даже при условии изотермичности атмосферы, стационарности распространения дымового шлейфа и стехиометрическом характере протекающих реакций описываются достаточно сложным математическим аппаратом. Предложенные эмпирические зависимости упрощают моделирование и, что весьма важно, позволяют применять модель в инженерных расчетах. Следует отметить, что инженерная постановка проблемы при решении оптимизационных задач в энергетике в равной степени приемлема не только в указанном случае, но и для всего комплекса задач гетерогенных термодинамических, гидравлических и физико-химических цепей, будь то процессы алло-автотермической газификации топлива, термохимической подготовки топлива, горения в вихре и т.п.

Ущерб по здравоохранению оценивается по выражению, руб/год ($/год):

$$У_{ЗДР} = \sum_{i=1}^{I} \sum_{k=1}^{K} y_{ki} Ч,$$

где y_{ki} – удельный ущерб по здравоохранению, который зависит от среднегодовых концентраций вредных веществ в приземном слое атмосферы; Ч – численность населения, попадающая в зону активных загрязнений, чел; k – среднегодовая концентрация i-го вещества.

Численность населения, попадающая в зону активных загрязнений, зависит от плотности населения и удаления источника выбросов от районов жилой застройки. При таком подходе удаление источника выбросов в территории с меньшей плотностью населения определяет не только связанные с собственно удалением затраты, но и затраты в социальную и промышленную инфраструктуру ($З_{ИНФ}$) и затраты «по здравоохранению» ($З_{ЗДРАВ}$).

Плотность населения для крупных городов находится на уровне 200000 чел/км^2 для жилых кварталов [14] и при удалении источника выброса от потребителя теплоты численность находящегося в ЗАЗ населения убывает (в порядке оценки) в соответствии с зависимостью, чел:

$$Ч = m \cdot \exp\left(\frac{-1{,}5X}{R}\right).$$

Здесь m – расчетная плотность населения, чел/км^2; X – удаление блока от потребителей теплоты, км; R – радиус ЗАЗ, км.

Величина удельного ущерба в зависимости от концентраций загрязняющих веществ с учетом данных представлена в табл.7.

Таблица 7

Удельный ущерб по здравоохранению, [13, 15]

Ингридиент	Среднегодовая концентрация, мг/м^3	Удельный ущерб, $/чел
Зола	0,05	2
	0,15	6
	0,3	13
	0,45	20
	0,6	24
	0,75	28
	0,9	31
	1,05	33
	1,2	34
	1,35	35
SO_2	0,05	5
	0,1	13
	0,15	20
	0,2	24
	0,25	28
	0,3	31
	0,35	33
	0,4	34
	0,45	35
	0,5	36

2.2. Некоторые результаты исследования

Расчеты, проведенные в соответствии с изложенными методическими положениями показывают, что затраты связанные с восстановлением здоровья населения значительно превышают затраты связанные с восстановлением экологической и социальной инфраструктуры (включая и жилищно-коммунальное хозяйство), рис.14. Из рисунка видно, что превышение составляет 160...500% в зависимости от единичной мощности и технологического процесса, при этом диапазон изменения соотношения $З_{ЗДРАВ}$:$З_{ИНФ}$ для всех технологических процессов составляет приблизительно 200%. В то же время на затраты «по здравоохранению» влияет и «роза ветров».

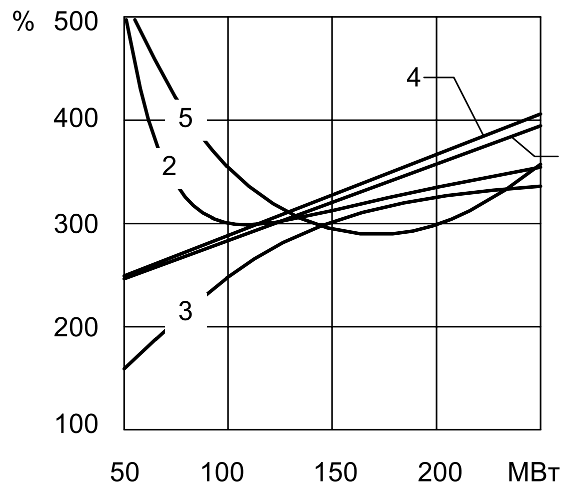


Рис.14. Превышение затрат «по здравоохранению» ($З_{ЗДРАВ}$) над затратами на восстановление экологической и социальной инфраструктуры ($З_{ИНФ}$) в процетах в зависимости от единичной мощности блока для различных технологий: 1 – традиционное сжигание угля; 2 – вихревая технология; 3 – технология плазменного розжига и подсвета основного пылеугольного факела; 4 – технология эмульгаторной золоочистки; 5 – технология термоподготовки угля

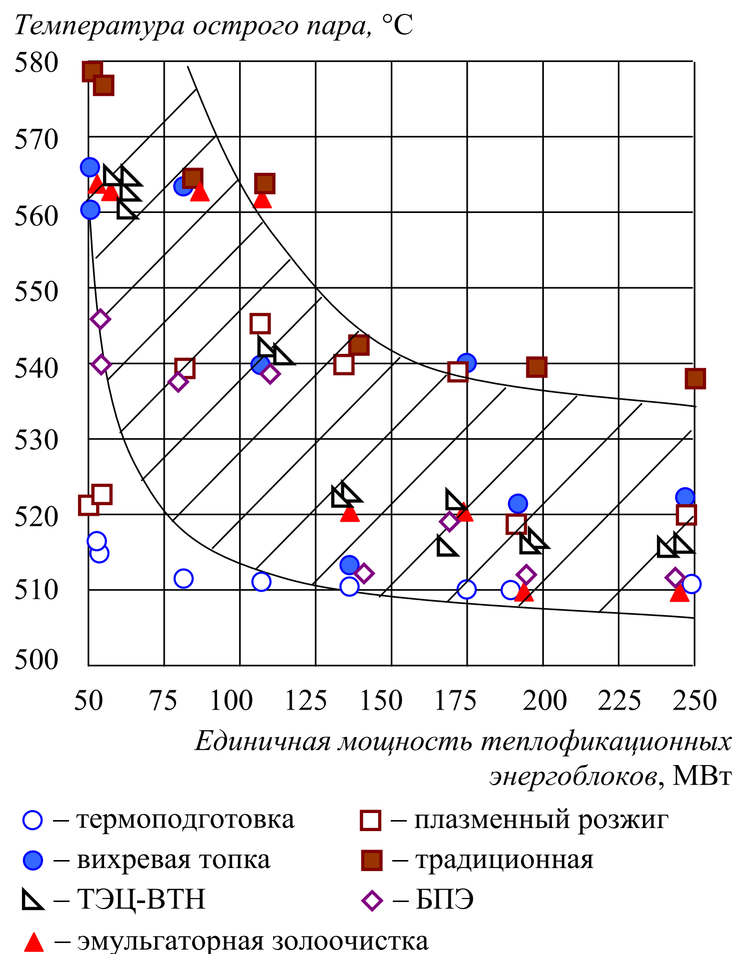


Рис.15. Расчетные значения оптимальной температуры острого пара в зависимости от единичной мощности блоков

Таблица 8

Влияние «розы ветров» на затраты в инфраструктуру и «по здравоохранению»

Источник выбросов, МВт	Топливо	Расположение	$З_{ИНФР}$, млн. $/год	$З_{ЗДР}$, млн. $/год
ТЭЦ-320	Кузнецкий, Д – 70% Мазут – 30%	Центр города	3,0	65,0
ТЭЦ-320	Кузнецкий СС	Подветренная от города сторона	1,86	17,2
ТЭЦ-350	Кузнецкий, СС – 70% Газ – 30%	Подветренная от города сторона	2,0	19,0
ТЭЦ-480	Газ	Центр города	0,112	2,9
ТЭЦ-1000	Кузнецкий, СС – 70% Газ – 30%	Подветренная от города сторона	5,0	36,0
ТЭЦ-1000	Кузнецкий, Д – 70% Мазут – 10% Газ – 20%	Подветренная от города сторона	3,5	30,0
ТЭЦ-1000	КАУ, Б2 – 70% Мазут – 30%	Подветренная от города сторона	3,8	32,0
Котельная Q_T=300 МВт	Газ	Подветренная от города сторона	0,002	0,011
Котельная Q_T=300 МВт	Мазут – 50% Газ – 50%	Поселок городского типа	0,003	0,272
Котельная Q_T=400 МВт	Газ	Подветренная от города сторона	0,008	0,043
Котельная Q_T=600 МВт	Мазут – 50% Газ – 50%	Подветренная от города сторона	0,017	0,132

Например, для г. Новосибирска соотношение в затратах $З_{ЗДРАВ}$:$З_{ИНФ}$, при расположении ТЭЦ или котельной в центре города может доходить до 22…25:1 (в зависимости от типа и мощности источника и вида топлива), а при расположении источника с подветренной стороны – 5…8:1, табл.8. При этом количество выбросов оценено в соответствии с положениями методик ВТИ [10, 11], а оценка ущерба в инфраструктуру ($З_{ИНФ}$) от действия выбросов проведена в соответствии с положениями «Временной типовой методики оценки эффективности природоохранных мероприятий» [9].

Учет в модели затрат связанных с восстановлением здоровья населения изменяет и профиль энергоблока, так как переменная составляющая эксплуатационных затрат во многом влияет на его оптимальный профиль, тем более, что затраты эти столь значительны. Под оптимальным профилем, в данном

случае, понимают такой энергоблок, параметры которого наилучшим образом отвечают критерию оптимизации – максимальному уровню рентабельности.

Изменение профиля энергоблока определяется изменением его термодинамических характеристик. Для всех рассмотренных технологий (каждая из которых в той или иной мере обеспечивает снижение экологического воздействия на ареал) выявлено изменение термодинамических параметров, в первую очередь – снижение температуры острого пара (до 510…520 °С вместо 540…565 °С с ростом единичной мощности блока, рис.15), при сохранении давления на уровне стандартных значений (13 и 23,5 МПа). При этом, чем ярче выражена экологическая направленность технологии, тем меньшие значения приобретает температура острого пара.

Эти результаты являются достаточно интересными, хотя и вызывают сомнения у многих специалистов-энергетиков.

Суть противоречия заключается в следующем. Одним из исторически сложившихся направлений развития энергетики является повышение термодинамических параметров циклов энергоблоков. На начальном этапе острый пар имел параметры: давление 4 МПа, при температуре 400 °С. В дальнейшем последние последовательно поднимались до 9, 13, 23,5 МПа и 450, 500, 540, 565 °С.

Сегодня проектируются и строятся энергоблоки с давлением до 26…32 МПа и температурой до 600 °С. В ближайшей перспективе планируется довести температуру острого пара до 700 °С. Такая тенденция связана с тем, что при повышении параметров острого пара, растет термодинамический КПД

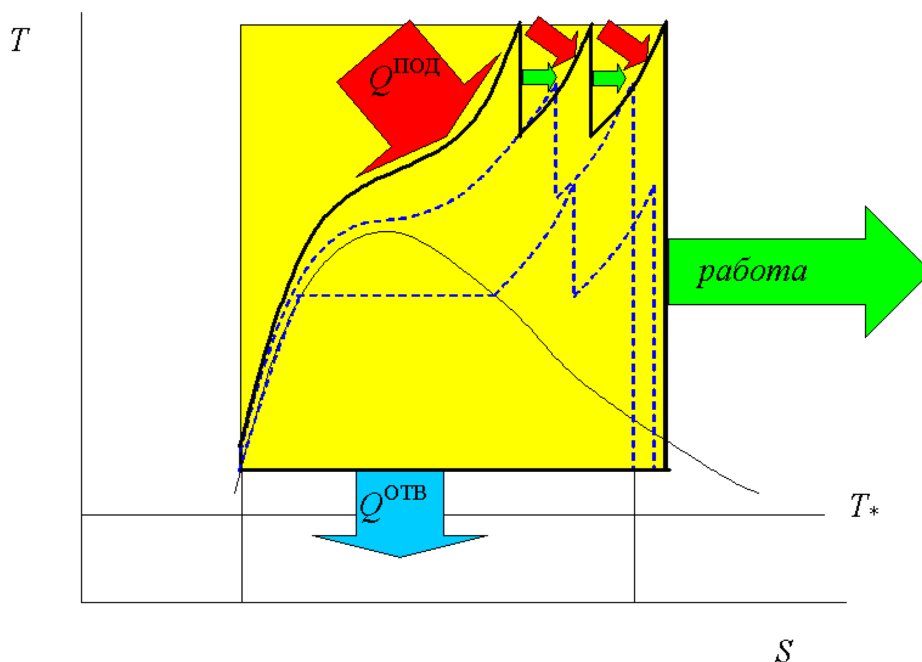


Рис.16. Исторически сложившаяся тенденция на увеличение температуры подвода теплоты к термодинамическому циклу

цикла. В этом состоит основной принцип повышения термодинамического КПД теплового двигателя – увеличение температуры подвода теплоты к циклу, либо снижение температуры отвода теплоты от цикла, рис.16. На основе такой тенденции развития КПД нетто энергоблоков доведен с 25…30% (на начальном этапе развития энергетики) до 42…46% у современных энергоблоков на суперсверхкритические параметры острого пара (до 30 МПа и 600 °С). Очевидно, что с ростом КПД обеспечивается снижение расхода топлива на единицу продукции. Одновременно с этим снижается и экологическая нагрузка на ареал функционирования при одинаковом отпуске продукции потребителю.

Вместе с тем повышение давления и температуры ведет и к некоторым нежелательным эффектам, а именно – увеличению капиталовложений и снижению надежности (готовности к несению нагрузки).

Увеличение капиталовложений связано с увеличением металлоемкости оборудования и одновременным переходом на более дорогостоящие материалы. В качестве примера можно привести толщины стенок трубопроводов острого пара для различных давлений: 13 МПа – 90 мм; 23,5 МПа – ≈150…180 мм; 30 МПа – ≈250…300 мм. Это ведет к увеличению массы лишь труб более чем в 4…5 раз. Кроме того, с увеличением температуры резко ухудшаются прочностные свойства рядовых котельных сталей, что требует перехода на более дорогие стали аустенитного класса.

Ухудшение прочностных свойств сталей и материалов в условиях роста температур обусловливает и снижение надежности работы оборудования. Последнее означает, что при прочих равных такой энергоблок будет чаще стоять

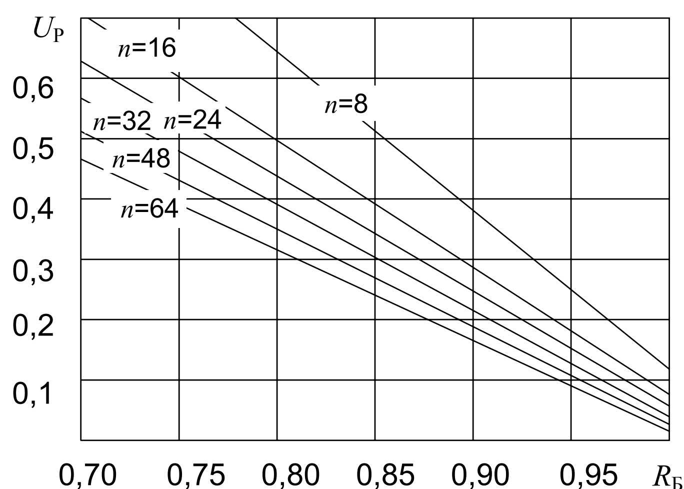


Рис.17. Зависимость коэффициента резерва ($U_Р$) от коэффициента готовности ($R_Б$) для различного числа включенных в энергосистему эквивалентных энергоблоков (n)

в ремонте, а собственно ремонт будет дороже. Однако потребитель должен получать продукцию бесперебойно, но известно, что при сегодняшнем развитии техники, электроэнергию в промышленных и даже бытовых масштабах, накопить невозможно. Это означает, что во время простоя энергоблоков на высокие параметры, дефицит электроэнергии должен покрываться за счет работы резервного оборудования, либо по перетокам мощности из смежных энергосистем через ФОРЭМ (Федеральный Оптовый Рынок Энергии и Мощности). В первом случае происходит увеличение капиталовложений из-за необходимости в резервном оборудовании. Зависимость коэффициента резерва от коэффициента готовности энергоблока для разных энергосистем показана на рис.17. Например, для восьми блоков по 180 МВт коэффициент резерва ($U_Р$) составляет около 0,52 при обеспечении коэффициента готовности ($R_Б$) на уровне 0,85, табл.9. Это означает, что для ввода в энергосистему восьми таких блоков в ней уже должен быть избыток мощности около 750 МВт (что позволит сократить затраты в резервные установки), а это становится экономически оправданным лишь для избыточных систем или в условиях развитых межсистемных связей (когда дефицит резервной мощности можно покрывать за счет покупной электроэнергии). Но даже и в этом случае резервирование более половины установленной мощности нецелесообразно.

Таблица 9

Коэффициент готовности энергоблоков для различных технологий

Технология	Коэффициент готовности, $R_Б$
Традиционное сжигание угля	0,92...0,94
Сжигание угля в вихревом предтопке	0,81...0,85
Технология плазменной подсветки	0,89...0,92
Технология эмульгаторной золоочистки	0,81...0,85
Термоподготовка топлива	0,92...0,94

Во втором случае получаемая электроэнергия существенно дороже из-за необходимости ее транспортировки и потерь в ЛЭП, а следовательно необходимо затратить топлива существенно больше при увеличении экологического воздействия на месте ее выработки. Кроме того средние затраты топлива на единицу продукции по всем энергообъединениям выше, чем у передовых ТЭС.

Проведенные расчеты показали, что равного экономического эффекта (по показателю рентабельности) можно добиться не столько стремлением к повышению термодинамического КПД циклов за счет повышения параметров острого пара, сколько обеспечением экологических показателей функционирования оборудования. Так как в этом случае, затраты, связанные с восстановлением экологической и социальной инфраструктуры и, особенно, здоровья людей снижаются быстрее, чем при росте КПД цикла.

Этот тезис можно проиллюстрировать следующим примером. Обеспечить снижение валового выброса золы на ≈200…300 т/год для блока мощностью 200 МВт, работающего на угле с зольностью ≈15 % в течении 6000 ч/год, можно повышением КПД нетто энергоблока на ≈5 % (абсолютных), либо повышением КПД золоуловителя на ≈0,5 % (абсолютных), рис.18. При этом каждый процент прироста КПД нетто энергоблока обеспечивает все меньшее снижение валового выброса золы. Очевидно, что капиталовложения во втором случае несопоставимо меньше.

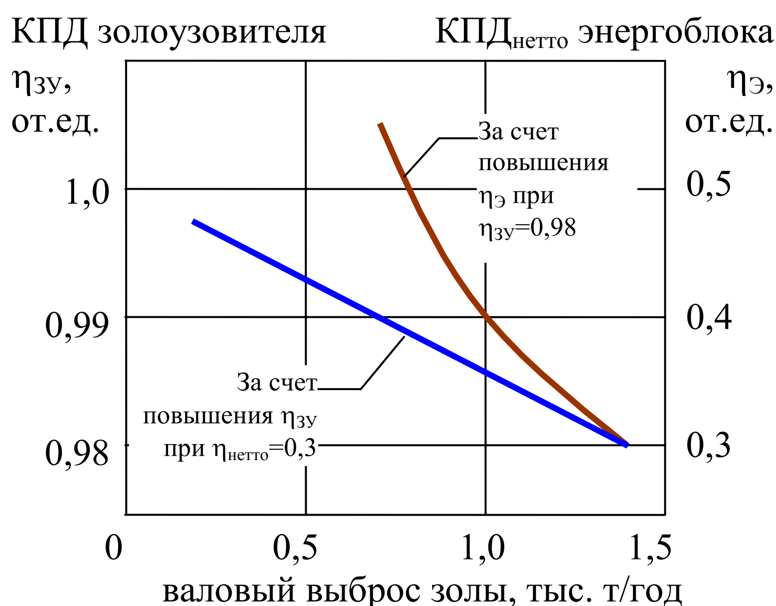


Рис.18. К сравнению мероприятий по снижению валового выброса золы для энергоблока мощностью 200 МВт: зависимости носят качественный характер без привязки к конкретной ТЭС

Вот почему в условиях предложенного комплексного подхода, и когда объектами исследования являются природоохранные технологии наблюдается тенденция к снижению температуры острого пара (по сравнению с традиционными параметрами серийно выпускаемого энергетического оборудования). Давление острого пара остается в рамках стандартных значений, так как его вклад в термодинамическую эффективность не столь заметен.

Показатель рентабельности рассмотренных технологий представлен на рис.19. Значения показателя меньше единицы обусловлены высокими затратами «по здравоохранению», которые не учитываются в современной ценовой политике. Очевидно, что предпочтительны технологии с наиболее выраженной природоохранной направленностью.

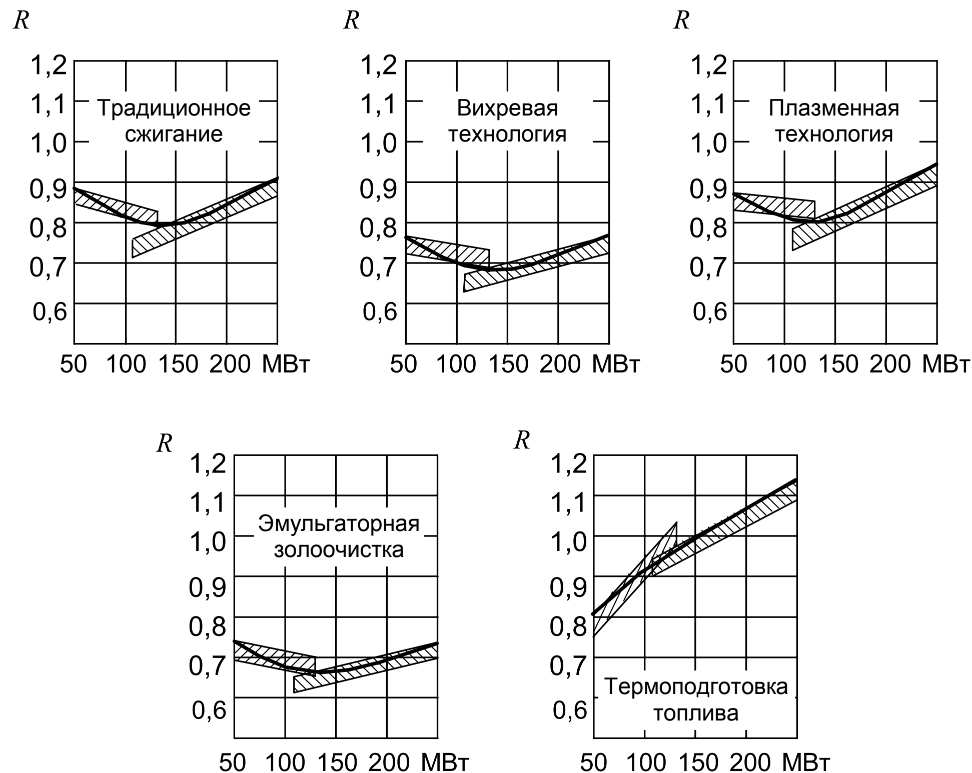


Рис.19. Показатель рентабельности (*R*) для различных технологических процессов производства электроэнергии и тепла в зависимости от единичной мощности блока (жирной линией обозначено матожидание функции цели, штриховкой – пессимистический вариант вероятного отклонения затрат)

Однако больший интерес представляют следующие результаты.

На рис.20 показано отношение затрат на восстановление социальной и экологической инфраструктуры, $З_{ИНФР}$ (без учета затрат «по здравоохранению») от действия теплофикационных блоков мощностью 4…250 МВт к затратам на восстановление здоровья людей длительное время подвергающихся воздействию вредных выбросов от действия блоков ТЭЦ, $З_{ЗДРАВ}$ (затраты «по зравоохранению»).

Легко видеть, что данное отношение образует некое вероятностное поле в достаточно узком диапазоне отношений $З_{ИНФР}$: $З_{ЗДРАВ}$. Причем для блоков мощностью свыше 50 МВт это отношение соответствует 0,28…0,4 и не зависит ни от единичной мощности, ни от вида технологического процесса, ни от параметров цикла. Это означает, что оптимальные затраты «по здравоохранению» должны превышать затраты в экоструктуру в 2,5…3,5 раза вне зависимости от параметров блока и технологической схемы ТЭЦ.

В то же время результаты расчетов ущербов от действия различных источников выбросов на площадках функционирования Новосибирских ТЭЦ и котельных, табл.8, показывают, что для реально функционирующих станций это соотношение не соблюдается даже при использовании в качестве основно-

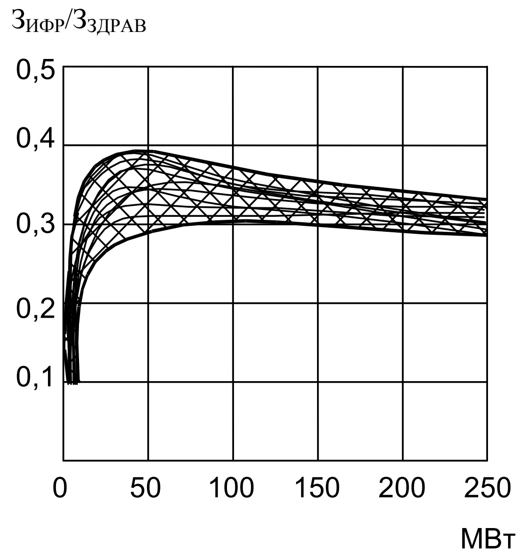


Рис.20. Отношение затрат $З_{ИНФР}/З_{ЗДРАВ}$, для всех рассматриваемых технологий в зависимости от единичной мощности блока

го топлива природного газа и при расположении источника выбросов с подветренной от города стороны.

Последнее обстоятельство позволяет сделать вывод о необходимости применения новых подходов при определении площадок строительства энергоисточников вблизи населенных пунктов.

Естественно, что столь высокие затраты «по здравоохранению» значительно увеличивают себестоимость отпускаемой энергоблоком продукции, рис.21. Увеличение себестоимости (с некоторыми допущениями) в среднем

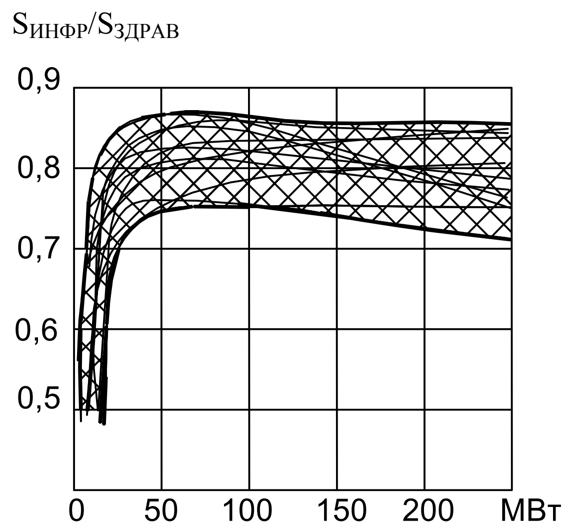


Рис.21. К определению увеличения себестоимости отпускаемой электрической и тепловой энергии при учете затрат «по здравоохранению»: $S_{ЗДРАВ}$ – себестоимость электроэнергии с учетом затрат по здравоохранению; $S_{ИНФР}$ – себестоимость электроэнергии с учетом затрат в инфраструктуру

составляет 15…30 %. Для мощных блоков увеличение себестоимости несколько выше и может доходить до 40 %.

В такой постановке вопроса, в качестве примера, можно говорить о том, что увеличение тарифов на отпускаемую продукцию на ≈30 % позволит сформировать фонд для организации реабилитационной структуры по восстановлению и профилактике здоровья населения (санаторно-курортное лечение, аптечная и поликлиническая сети и т.д.). Вместе с тем, в данном случае оценен вклад лишь энергетики, а, как известно энергетика – не единственный загрязнитель окружающей среды.

2.3. Сопоставление результатов исследования с зарубежным опытом

Ущербы от действия топливных циклов для Великобритании и Германии показаны в табл.10 [16].

Легко видеть, что диапазон отношений $З_{ЗДРАВ}$:$З_{ИНФ}$ по странам и видам топлива достаточно широк. Однако для сжигания угля $З_{ЗДРАВ}$:$З_{ИНФ}$ и для Германии и для Великобритании приблизительно одинаков ≈3,5…5:1 и несколько выше, чем оптимум (на уровне 3:1), полученный в расчетах. Отчасти это можно объяснить более высокой плотностью населения в Великобритании и Германии – соответственно ≈230 чел/км^2 и ≈245 чел/км^2, а плотность населения в России (в обжитых районах) – <100 чел/км^2, для Сибири и того меньше (например, в зоне Байкало-Амурской магистрали – ≈20 чел/км^2).

В то же время, в Новосибирске соотношение $З_{ЗДРАВ}$:$З_{ИНФ}$ может доходить до 25:1 (табл.8), и низкое в целом соотношение в затратах за рубежом скорее всего обусловлено уровнем внедрения природоохранных, энерго- и ресурсосберегающих технологий в развитых западных государствах и более высоким уровнем социальной защищенности населения в этих странах. Например, если выразить годовые затраты «по здравоохранению» для Германии (табл.10) для ТЭЦ на угле мощностью 300 МВт и при 6000 часов использования, то получим $З_{ЗДРАВ}$≈18 млрд. $/год, в то время как расчетное значение для аналогичной ТЭЦ по предложенной методике (с использованием рис.14) – около 7 млрд. $/год.

Таблица 10

Ущерб от топливных циклов, $/кВт·ч [16, 17]

Наименование показателя	Ископаемые топлива				
	Лигниты	Уголь		Нефть	Газ
	Германия		Великобритания		
Здоровье населения (1)	11,418	14,843	4,567	12,559	0,571
Экологическая и социальная инфраструктура, без учета наземной экосистемы и рыболовства (2)	0,256	2,887	1,296	1,202	0,218
Отношение (1)/(2)	44,6	5,14	3,52	10,44	2,62

По всей видимости именно эти обстоятельства позволяют Германии и Великобритании выйти на близкие к оптимальным соотношения $З_{ЗДРАВ}:З_{ИНФ}$ при сжигании углей. С другой стороны, диапазон соотношений $З_{ЗДРАВ}:З_{ИНФ}$ и для этих государств очень широк, табл.10, что во многом обусловлено неполнотой и сложностью исследований в данной области и за рубежом.

В целом, полученные результаты для энергоблоков ТЭЦ можно считать сопоставимыми с зарубежным опытом исследования.

2.4. Резюме

Учет затрат «по здравоохранению» показывает, что влияние последних на оптимальный профиль энергоблоков существенно. При этом расчеты показывают, что происходит снижение оптимальной температуры острого пара.

Сравнительный анализ различных теплофикационных энергоблоков в диапазоне мощностей 4…250 МВт позволяет сделать следующие выводы:

- Соотношение в затратах на восстановление экологической и социальной инфраструктуры с учетом «здравоохранения» и без него, $З_{ИНФР}:З_{ЗДРАВ}$, для блоков мощностью выше 50 МВт не зависит от мощности блока, его начальных параметров и вида технологической схемы и лежит в пределах 1:2,5…3,5.
- Реально функционирующие ТЭЦ и котельные не обеспечивают данного соотношения даже при условии работы на природном газе и при расположении с подветренной стороны от потребителей тепла, что требует применения новых подходов при определении площадок строительства энергоисточников вблизи населенных пунктов.
- Увеличение себестоимости электроэнергии и теплоты при учете затрат «по здравоохранению» в среднем составляет 15…30%, однако для мощных теплофикационных блоков может доходить до 40%.

Заключение

В пособии представлены лишь два фактора, которые связанны с охраной окружающей среды от действия ТЭС – сокращение выбросов парниковых газов и ухудшение здоровья людей, находящегося в зоне выбросов ТЭС. Однако на их примере можно проследить глубину и сложность экологических проблем, которые по большей части носят социальный характер.

Конечно, возникающие проблемы ставят большое количество вопросов, ответы на которые в обществе не найдены – эту задачу еще предстоит решать.

В настоящем пособии показаны возможные пути решения некоторых проблем, однако они не претендуют на статус единственно верных. В то же время факт влияния антропогенной деятельности на климат и здоровье человека – доказан. Чем раньше будут найдены способы снижения отрицательных последствий такой деятельности, тем дольше сохранит позиции техническая цивилизация.

Литература

1. *Кокорин А.О., Грицевич И.Г., Сафонов Г.В.* Изменение климата и Киотский протокол – реалии и практические возможности. – М.: 2004. – 64 с.
2. *Пугач Л.И.* Энергетика и экология: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – 197 с.
3. *Гаврилов Е.И., Гуглина Л.Л., Покровская Л.С., Васильев К.М. и др.* Экологический мониторинг Рязанской ТРЭС. – Теплоэнергетика. – 1999. – №5. – С.44…53.
4. *Обзор* загрязнения природной среды в Российской федерации за 2002 г. – М.: Росгидромет, 2003. – 295 с.
5. *Zweig R.W.* Hydrogen energy progress: VII Proc. 7-th World hydrogen energy conf. – N.Y. etc., Pergamon Press, 1988. – V.1. – pp.23…31.
6. *Репродуктивное* здоровье как объективный показатель медико-экологического мониторинга. Охрана атмосферного воздуха / Н.И.Латшиевская, Г.П.Герусова, С.В.Вдовин и др. – СПб.-М.: НИИатмосферы, 1999. – С.62…65.
7. *Пугач Л.И.* Проблемы рационального использования канско-ачинских углей на ТЭС. – Новосибирск:, НЭТИ, 1992. – 215 с.
8. *Яворский И.А.* О путях предотвращения выбросов оксидов азота технологическими методами сжигания твердых топлив. // Теплоэнергетика. – 1995. – №2. – С.17…23.
9. *Временная* типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. (Извлечение). – М.: 1983. –96 с.
10. *Методика* определения валовых и удельных выбросов вредных веществ в атмосферу от котлов электростанций. / РД 34.02.305-90. – М.:1991. – 34 с.
11. *Методика* определения валовых и удельных выбросов вредных веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС. / РД. 34.02.305-98. – М.: АООТ «ВТИ», 1998. – 43 с.
12. *Методика* расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 93 с.
13. *Жабо В.В.* Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
14. *Аршакян Д.Т.* Особенности развития теплофикации в условиях перехода к рыночной экономике. – Теплоэнергетика, 1997. №1. – С.72-77.
15. *Шупарский А.И.* Оптимизация природоохранных мероприятий в теплоэнергетике. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1992. – 128 с.
16. *Барроиз Дж.* Доклад на координационном совете по оценке риска в ядерном комплексе. – Энергия. – №3. – 1999. – С.81.
17. *www*. isv.ru